



TITLE:

<総説>火災時の煙と有害ガス

AUTHOR(S):

石原, 茂久

CITATION:

石原, 茂久. <総説>火災時の煙と有害ガス. 木材研究・資料 1981, 16: 49-62

ISSUE DATE:

1981-12-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/51589>

RIGHT:

火 災 時 の 煙 と 有 害 ガ ス*

石 原 茂 久**

Smoke and Toxic Gases Produced during Fire*

Shigehisa ISHIHARA**

1. は じ め に

最近のわが国における火災の実態をみると、総出火件数が6万数千件、建物焼損面積が約2百万平方メートルと顕著な増減がないのに対し、火災損害額（昭和54年度で約1400億円）と並んで焼死者（昭和54年度で2070人）は依然として増加の傾向にあり、さらに、これらの死傷者のほとんどが建物火災によるもの（死者は全火災の71%、負傷者は88.8%）であることに注目しなければならない。

昭和54年度における死者の数は木造住宅のそれが最も多いが、ここ十年間の火災による死傷者の増加の傾向や一時に多数の死傷者を出す火災についてみると耐火・耐熱構造物のいわゆるビル火災の多発に伴っており、昨年秋、45名もの痛ましい犠牲者を出した栃木県・川治温泉の川治プリンスホテルの大惨事はわれわれの記憶に新しい。

高層建築物や地下街の火災は木造住宅のそれとはまるで性格が違い、きわめて複雑である。その共通性は、構造とくに外壁等が耐火・耐熱性であっても隔壁や内装材、家具調度類等に可燃物が多く、ひとたび出火すれば密閉状態となった建物内に煙が充満し、階段が煙道となり避難口を失って煙にまかれる危険性の多いことである。

煙による死者の増加は建築構造、避難対策にも問題があるが、とくに最近、新建材、装飾材、衣料、家具調度類等が石油化学製品を原料としているものが多く、これらはひとたび火災が発生すると煙や有毒ガスを発生し、火災がそれ程大きくなくとも死を招く例が多い。

火災による死者の増加は建築物の耐火性、防火性の追求に平行した直接人命に影響する煙、分解ガスの研究の重要性を認識させたが、同時に建築および建築材料の規制に関する論議を盛んにした。昭和44年建築基準法施行令の一部が改正され、煙対策と避難通路確保を骨子とする建築防火に関する規制措置がとられ、また昭和51年には火災時に建築材料より放出する有害ガスをチェックするために防火材料の建設省告示が改正（建設省告示第1231号）された。このような法による規制をまつまでもなく、建築および建築材料にとって防火は不可欠の条件であるが、火に対して大きな抵抗力をもたない有機質系建築材料の防火はこの機会に厳しい再検討を迫られることとなった。しかしながら木材に代表されるこれらの材料はその燃焼性を除けば建築材料として多くのすぐれた性能を有する。したがってこれらの材料の防火防煙は材料学や建築学上の問題にとどまらず国民ひとりひとりの生命の安全とより快適な生活のためきわめて重要な国家的課題となってきた。

* 第36回木研公開講演会（昭和56年5月29日、大阪）において講演

** 木質材料研究部門（Research Section of Composite Wood）

火災によってもたらされる危険性は今更述べるまでもないが、その度合は火災の種類、火災の状況、隣接構造物の状態、燃焼条件などによって変化し、火災のたびに変わってくる。通常、人命に直接危険であると考えられるものは、酸素不足、火炎、熱（熱気流）、分解ガス、煙および材料強度の低下等である。これらはいずれも居住者の生命の保全と消防活動にとってきわめて危険なもので、それらの間に軽重はない。近年火災のたびにマスコミに大きく報道され、世人の注目を浴びている火災時の煙と有害ガスとはどのようなものであるうか。

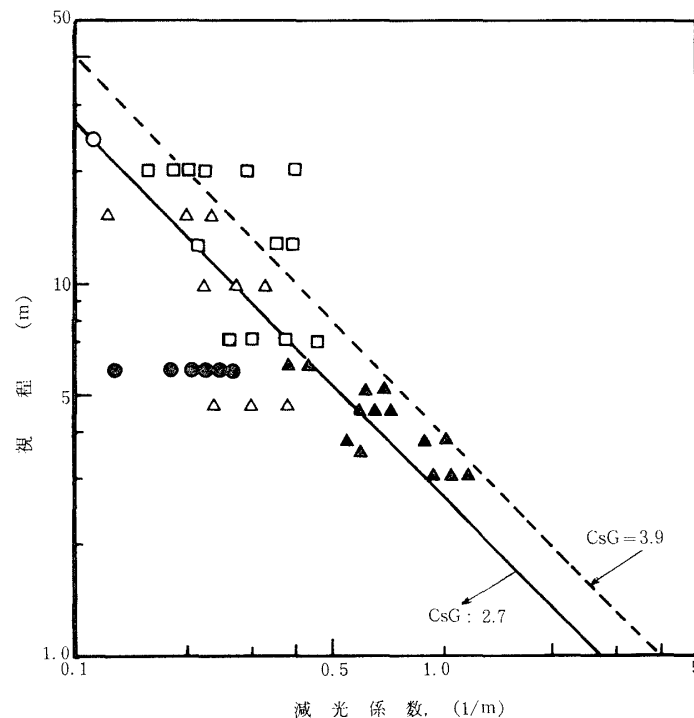
火災時に生成する有害ガスおよび煙の研究は国の内外を問わず盛んであるが、前者では数十種の成分同定、後者では煙濃度や流れに関する知見をまとめ上げるまでに至ったが、煙の人体に対する生理学的、心理学的影響、人間工学的にすぐれた防火、防煙材料の開発などは明確な結論を得るまでに至っていない。

火災状態における材料の燃焼生成物による生命の危険度はガスおよび煙の濃度や性状により決るが、これは煙による透視距離の低下と有害成分（酸素不足を含む）による生理学的なものに分けて考えねばならない。

2. 燃焼時における各種建築材料の発煙

2.1 煙

煙は有機物質の燃焼によって生ずる水蒸気、熱分解生成物の微粒子、凝集液滴微粒子、固体炭素および灰分のような燃焼残しの微粒子が大気中に浮遊している状態と定義され、白煙といわれる水蒸気の集団から炭素粒子にタール状成分が附着している黒煙までである。したがって有機質系材料であれば必ず煙を生ずる



- ：帝劇地下駐車場（東消・火予委）発煙筒
- △：池袋地下駐車場（東消・火予委）発煙筒
- ▲：山一証券ビル（渋谷）（消研・守屋）火災
- ：能美防災KK実験室（建研・斉藤）発煙筒
- ：大運ビル（横浜）（建研・斉藤）火災

図1. 煙濃度（減光係数） C_s と視程 G の関係¹⁾

が、その性状はもとの材料によって著しく異なる。

熱分解生成物で気化されていないもののうち肉眼で認められる程度の微粒子を「煙粒子」といい、気体中で浮遊する種々の粒径の微粒子のうち、 $0.1\sim 1.0\mu$ のものが最も安定して浮遊する。一般に煙とは煙粒子の直径がこの大きさのものをいい、木材の煙のタール液滴およびすすの直径はともに $0.1\sim 0.2\mu$ 程度とされている。

2.2 煙濃度の測定と許容限度

煙濃度は単位体積当りの煙粒子の重量で示す「質量煙濃度」(重量濃度, g/cm^3)、単位体積当りの煙粒子数で示す「粒子個数」($\text{個}/\text{cm}^3$)、煙粒子による散乱光の強度変化による「散乱煙濃度」および煙粒子が光をさえぎる程度で示す「減光係数」(光学的濃度, $1/\text{m}$)で示される。

煙濃度を測定する方法には重量法、粒子数法、減光係数法、ラジオアイソトープ法およびフィルターペー

表1. 各種材料の煙濃度 (NBS 法)³⁾

材 料	厚さ (in)	煙 濃 度	
		着 炎	くん焼
レッドオーク	0.25	76	395
レッドオーク	0.78	117	660
ブラックウォルナット	0.25	91	460
ホワイトオーク	0.25	107	420
ホワイトバイン	0.25	155	325
レッドウッド	0.25	133	260
ス プ ル ース	0.75	310	421
ダグラスファー	0.25	156	380
合板 (マーリン)	0.25	62	285
合板 (外装用, ダグラスファー)	0.25	112	287
合板 (内装用, ダグラスファー)	0.25	96	350
ポリエチレン	0.25	150	470
ポリプロピレン, rug	0.18	110	456
塩素化ポリエチレン, フォーム	1.00	32	22
ポリテトラフルオエチレン	0.25	55	0
ポリ塩化ビニル	0.125	525	272
ポリ塩化ビニル	0.25	535	470
ポリ塩化ビニル	0.25	660	300
ポリ塩化ビニル, filled	0.25	530	490
ビニル, 織物	0.026	198	261
モダックリック, 織物	0.024	79	54
ポリスチレン	0.25	660	372
ポリスチレン	0.25	470	345
ポリスチレン, フォーム, 防炎性	0.25	260	10
アクリロニトリル-ブタジエンスチレン	0.046	660	71
アクリル樹脂	0.219	107	156
アクリル樹脂, 防炎性	0.25	480	380
ポリアクリルニトリル, rug	0.3	159	319
セルロースアセテートブチレート	0.25	49	434
ポリアミド (ナイロン), rug	0.3	269	320
ポリカーボネート	0.125	174	12
フェノール樹脂, フォーム	1.0	5	14
ポリエステル, ガラス繊維強化	0.156	395	350
ポリエステル, ガラス繊維強化防炎性	0.156	618	361
ポリウレタン, フォーム	0.5	20	156
ポリウレタン, フォーム防炎性	1.0	439	117
天然ゴム, フォーム	0.75	660	236
毛, 織物	0.024	16	60
毛, rug	0.3	178	215

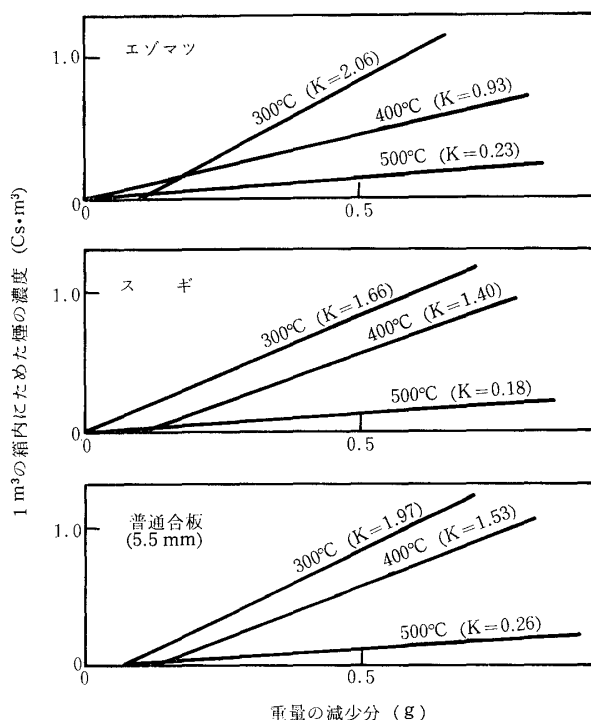


図2. 各種材料の重量減少に伴う煙濃度の上昇¹⁾

パー法などがあるが、火災工学上、減光係数 $E_s (E_s = 1/L \cdot \ln I/I_0)$ を測定する方法が一般的である。ここに、 I_0 は煙に入射する光の強さ、 I は煙を透過した光の強さ、 L は光路幅 (m)。この場合、煙濃度は煙粒子個々の光に対する吸収特性と粒子数によって決る。煙粒子の吸収特性が同じで、粒子の分布が均一の場合煙濃度 C_s と平均煙粒子径 r 、粒子個数 n との間には次式が成立する。

$$C_s = K\pi r^2 n$$

ここに、 K は煙の光吸収特性値で、合成高分子材料ではこの値が大きく、しかも粒子径が大きいため煙濃度は高い値を示す。

煙濃度 C_s (1/m) と可視距離 (視程) G (m) との関係は、明るさやその他の条件によっても差があるが、図1に実際のビルや地下駐車場で各種の実験を行なった場合のそれを示す。これによれば、視程は10 m もあれば (この時の $C_s = 0.3 \sim 0.4$) 避難上支障がないように思われるが、実際の火災では恐怖感など心理的要因も加って $C_s \leq 0.1$ の煙でも立ちすくんでしまうことが多いといわれている。火災時の避難を考えた場合の煙濃度の許容限度としては $C_s = 0.1$ より大きな値を用いることは危険だと考えられている。

2.3 材料の発煙係数

材料を一定温度で加熱すると、図2に示すように材料の重量減少に比例して単位体積中の煙濃度が増加する。この比例定数、換言すると「ある温度における単位重量 (g) の材料の燃焼あるいは熱分解に伴う発煙

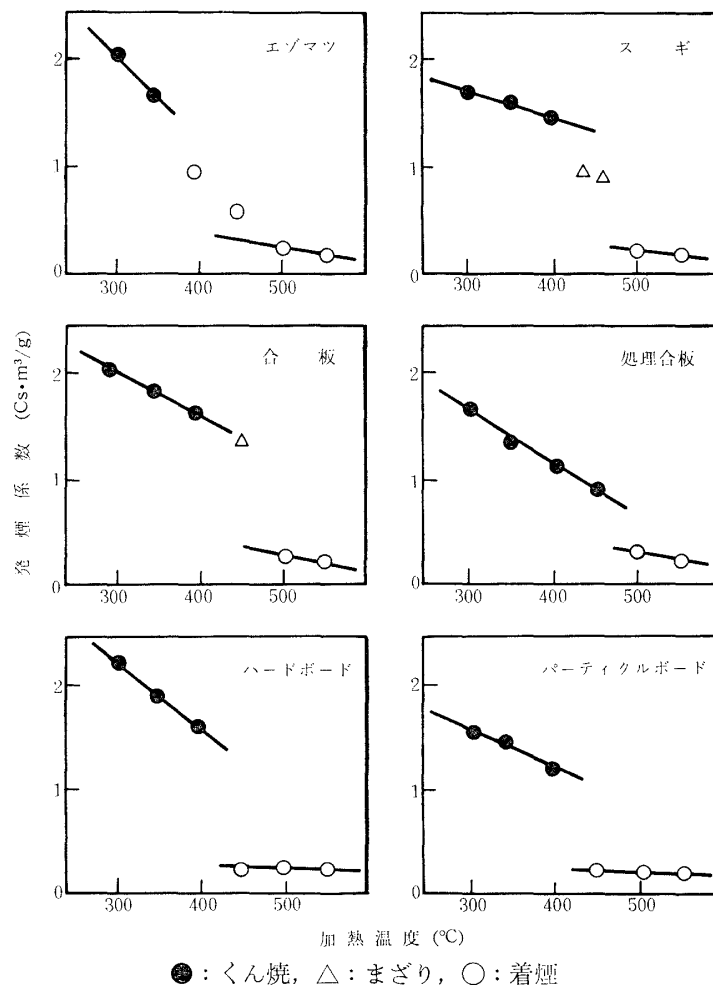


図3. 各種材料の発煙係数 K と加熱温度との関係¹⁾

量」を「発煙係数, K 」($C_s \cdot m^3/g$)と呼んでいる。この K の値は各材料に固有のものであるが、加熱温度によっても変化する(図2)。図3に K と温度 θ ($^{\circ}C$) との関係を示す。これによると、比較的低温で加熱されたくん焼状態の K の値と高温の発炎燃焼状態のそれには大きな差が認められ、一般に前者の値が大きい(表1参照)。ある材料の K を求めるためには、材料を一定温度で加熱し、試料の重量減少量 W (g) を測ると同時に、所定の容積 V (m^3) 中で発生した煙の濃度 C_s を測定して、 $C_s \times V = KW + A$ により求める。ただし、 A は材料ごとに実験により定まる常数である。

2.4 材料の燃焼速度と発煙速度

ある材料を燃焼させた場合、単位時間および単位重量当りの燃焼量を「燃焼速度, R 」($g/min \cdot g$) とすると、 R は次式により求められる。

$$R = \frac{dw}{dt} = k \cdot W_0 \cdot e^{-E/R'T}$$

ただし、 k は頻度係数、 W_0 は試料の初めの重量、 E は活性化エネルギー、 R' は気体定数、 T は絶対温

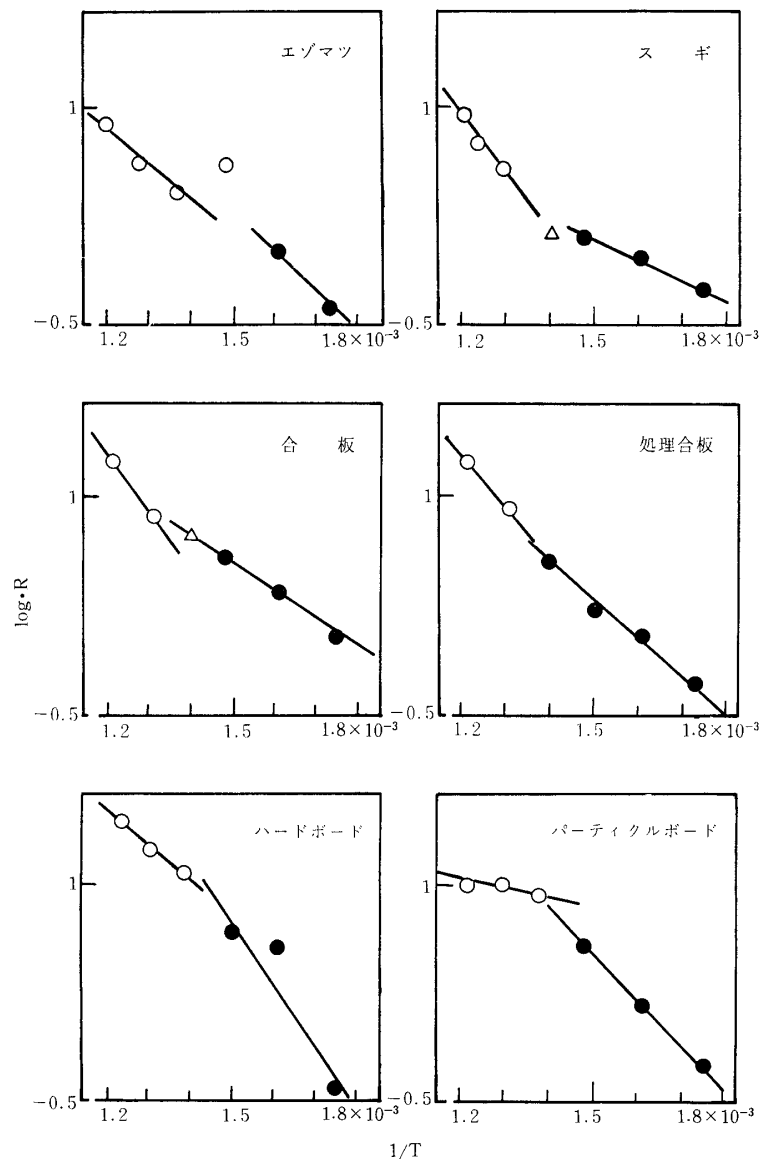


図4. 各種材料の燃焼速度 R と加熱温度 T (絶対温度) の関係¹⁾

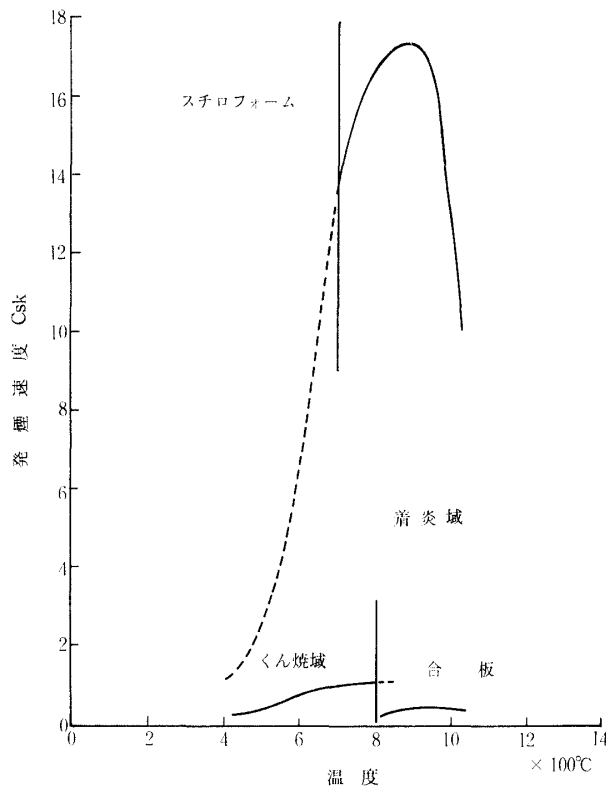


図5. スチロフォームと普通合板の発煙速度 C_{sk} と加熱温度の関係¹⁾

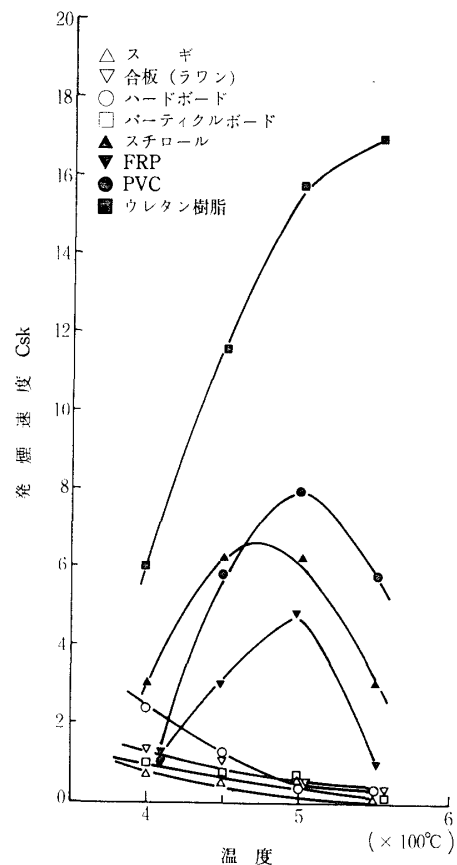


図6. 各種建材の発煙速度 C_{sk} と加熱温度の関係¹²⁾

度である。図4に R と T の関係を示す。この図と図3から、 T が小さい場合には R は小となるが、 K は大となる関係にあることがわかる。ある材料の単位重量から単位時間に発生する煙の量を「発煙速度、 C_{SK} 」($C_s \cdot m^3/min \cdot g$) と呼ぶことにすると、 $C_{SK} = K \times R$ の関係があり、実際の燃焼時に発生する煙の被害を評価するには種々の考え方があろうが、一般には発煙速度 C_{SK} を用いるのが最も適当であるとされている。図5および図6に各種材料の C_{SK} と温度の関係を示す。

2.5 火災時における煙の実際

煙による見透しの障害は煙粒子の形状、黒度、粒子数によって左右され、煙は材料の化学構造、元素組成や建物の構造および燃焼条件等によって材料独自の発煙特性を示す。建築の分野で用いられる材料の種類は非常に多く、そのすべてをチェックすることは困難であるが、代表的な材料の発煙特性を示すと図7のようになり、木材と新建材の原料となる数種類の合成高分子化合物の発煙性を比較すると表1のようになる。ここに示すように合成高分子化合物の発煙量は一般的に木材のそれよりはるかに大きい。これらの合成高分子化合物はケイ素樹脂を除いて鎖状ないし網状の炭素結合により構成されているため熱に対して強固でなく、普通の合成高分子材料は100℃前後の低温で軟化溶解をはじめ、200℃前後の温度から急激な熱分解を起し、空気の下では激しく燃焼するようになる。しかもこれらの物質はいずれも炭素数が非常に多く、熱分解や燃焼に当って固体の炭素や高沸点のタール状微粒子を遊離し易く、いわゆる煙の生成はきわめて大となる。これに対し、木材は複雑な構造、組成をもち熱分解、燃焼も複雑であってプラスチック類に比べると熱分解速度も発煙速度も急でない。しかしながら木材の燃焼によって生ずる煙の量はプラスチック類に比較し

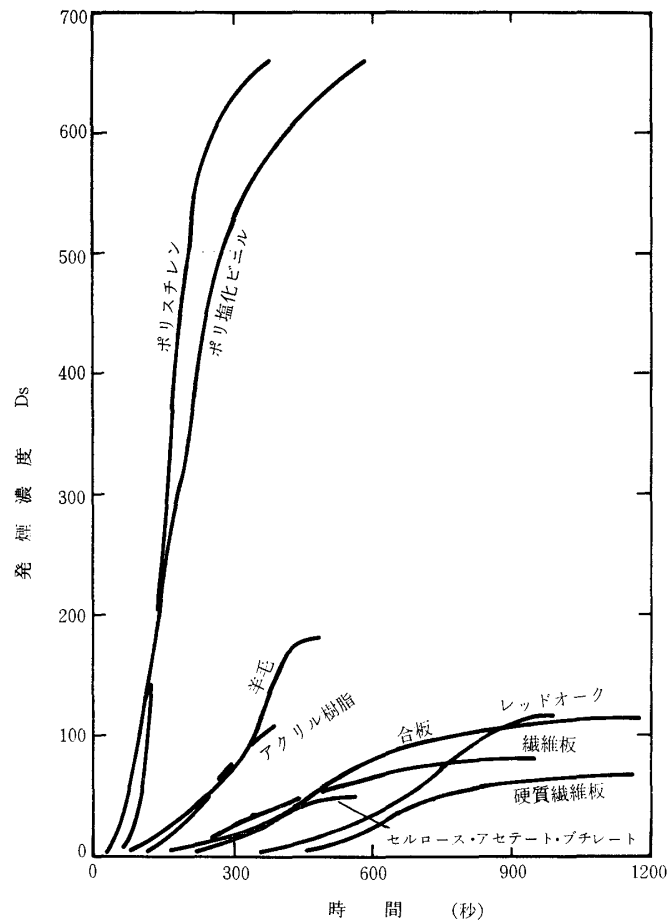


図7. 燃焼下における各種材料の発煙濃度 D_s と時間の関係²⁾

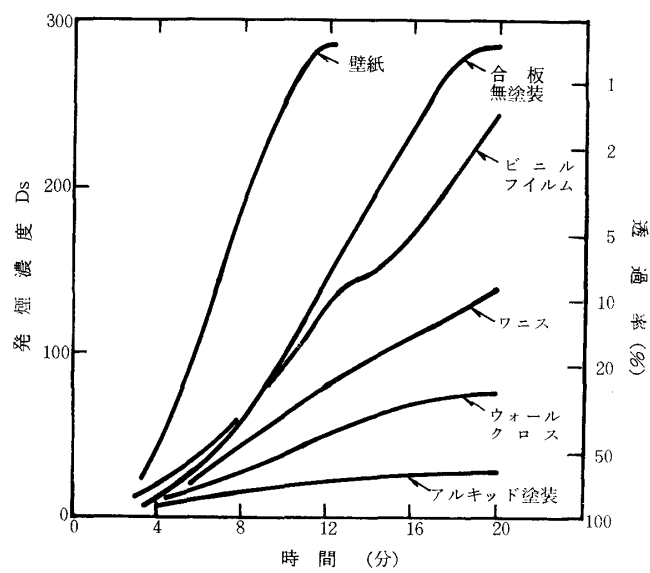


図8. 合板の発煙量におよぼす塗装の影響²⁾

て少ないとはいへかなりの量に達する。いま、建坪25坪の木造平屋の可燃物を 10 t とした場合、空気率 5 で燃焼して生ずる全ガス量は $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ にも達する。火災現場でみられるあの猛烈な煙はこの値からもうかがい知ることができる。通常の火災はこのような完全燃焼の形態をとることはまずないが、加熱によって生成した分解生成物は燃焼してガス化すると同時にその一部がそのまま大気中に放出され凝縮液滴となって浮遊し、さらに高温で生成した遊離の炭素とこれに凝縮するタール状成分が拡散、浮遊することによって、いわゆる煙を大量に発生する。前述のように種々の条件によって発煙量にはかなりの相違があるものと考えられる。実際の火災では煙濃度は発煙速度、換気によって大きく左右され、一般的に換気の割合に逆比例するとされているが、密閉されたビルや地下街の火災で発生する煙の危険性は、近年プラスチック系建材や装飾材の占める割合の多いこともあって想像を絶するものがあるろう。

2.6 木質材料に対する防煙加工

海外におけるこの分野の最近の研究動向をみると材料の防煙性に関するものが急速に進歩し、着実な成果

表 2. 各種プラスチック製品の発煙量⁶⁾

材 料	発 煙 量 (%)
木材 (レッドオーク)	0.20、 1.10、 0.37、 0.27
PMMA	3.9、 2.8
自己消炎性PMMA	
1.リン、臭素、塩素含有	9.0、 9.2
2.リン、臭素、塩素含有	10.4、 9.8
3.リン、臭素、塩素含有	13.4、 12.2
ポリエステル	16.7、 17.2
自己消炎性ポリエステル	
1.リン、臭素、塩素含有	15.7、 15.6
2.リン、塩素含有	17.8、 19.2、 16.8、 18.3、 20.0
3.リン、塩素含有	11.1、 11.0、 12.4、 11.7
4.リン、臭素含有	17.2、 18.1、 18.4、 15.6、 17.9、 16.6
自己消炎性ラミネート	
1.ガラス繊維、フィラー、三酸化アンチモン含有	4.6、
2.ガラス繊維、ハロゲン、リン含有	11.1、 10.6
3.ガラス繊維、ハロゲン、リン含有	11.9、 12.0
4.ガラス繊維、ハロゲン、リン含有	7.3、 7.8
5.ガラス繊維、ハロゲン、リン、三酸化アンチモン含有	7.2、 8.0
6.ガラス繊維、ハロゲン、リン、三酸化アンチモン含有	12.0、 12.6
7.ガラス繊維、ハロゲン、リン、三酸化アンチモン含有	11.4、 12.0
ウレタンフォーム	9.3、 9.7
自己消炎性ウレタンフォーム	
1.リン含有	11.5、 10.0、 10.6
2.リン、塩素含有	7.7、 9.2
塩化ビニル	8.0
ビニル引き織物	
1.	8.5、 7.6、 7.6
2.	4.9、 5.5、 4.6
3.	6.5、 6.6、 6.8

を上げている。木質材料に関連する研究例を示すと繊維板、合板などの木質材料表面を塗装もしくはオーバーレイすることによって発煙が減少すること²⁾ (図8) や数種の防火剤で処理することによって発煙を抑制できること⁴⁾ などが報告されている。これらの結果は今後詳細に検討すべき点も多いが、これらの成果をさらに進展させることにより、防煙性と防火性のすぐれた木質材料の飛躍的發展を期待することができる。一方、プラスチック材料の防煙加工も試みられている⁵⁾ が、表2に示すようにリン、臭素、塩素等をプラスチック原料に導入することによって材料に自己消炎性を与えられるのに対し、これによって材料の発煙量は急速に増加する傾向を示す。このようにプラスチック系材料の難燃化と煙の発生抑止との関係には相反する事実もしばしば認められ、研究者に課せられた今後の問題はきわめて重大かつ困難な点を含む。

火災時に発生する煙から人命を守り、消防活動を円滑にするためには、その主たる発生源と考えられる建築材料について発煙性の少ない材料の選定は当然であるが、単に材料面ばかりでなく、その他建築設計および設備の分野について十分考慮し、全体としての安全性を高めるように指導、規制がなされなければならない。

3. 各種建築材料の燃焼時における有害ガスの発生

3.1 各種材料からの発生ガスと各種ガスの忍限度

火災時に人命をおびやかすいまひとつのものは分解生成物中の有害成分である。建築材料に供される木

表3. プラスチックと天然物の燃焼生成物⁷⁾

生成量 (試料kg当りのgr 数)										
分解生成物	ポリスチレン	エチルセルロース	塩化ビニリデン樹脂	塩化ビニル樹脂	ポリアミド(ナイロン)	レーヨン	羊毛	絹	木材	紙
(大気中 - 酸素 21% -, 800℃)										
炭酸ガス	2.192	2.294	1.047	0.433	1.226	1.836	1.541	1.352	1.626	1.202
一酸化炭素	0.174	0.440	0.022	0.229	0.304	0.116	0.446	0.634	0.270	0.135
アルデヒド*	—	—	—	—	0.0064	—	—	0.024	微量	—
ホルゲン	—	—	—	0.0004	—	—	—	—	—	—
シアン化水素	—	—	—	—	0.0076	—	0.007	0.036	—	—
アンモニア	—	—	—	—	0.032	—	—	0.053	—	—
塩化水素	—	—	0.621	0.496	—	—	微量	—	—	—
酸**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0009
(酸素 11.7%, 800℃)										
炭酸ガス	1.698	0.202	0.416	0.743	0.907	1.130	0.650	1.033	0.934	1.001
一酸化炭素	0.540	0.172	0.221	0.086	0.355	0.225	0.138	0.141	0.366	0.273
アルデヒド*	0.003	0.012	—	—	0.0065	—	—	0.0012	微量	微量
ホルゲン	—	—	—	0.00008	—	—	—	—	—	—
シアン化水素	—	—	—	—	0.0098	—	0.008	0.007	—	—
アンモニア	—	—	—	—	0.210	—	0.035	0.308	—	—
塩化水素	—	—	0.774	0.473	—	—	微量	—	微量	—
酸**	—	—	—	—	—	0.042	—	—	0.009	—

* ホルムアルデヒドとしたときの量

** 酢酸としたときの量

材、合成高分子材料等の熱分解や燃焼過程はなお明らかにされていないところが多い。ポリスチレンやポリメタクリル酸メチルのように解重合によってモノマーに分解するものもあるが、ポリマーは複雑な熱分解により低分子の化合物となって、一部はそのまま大気中に放出され、一部は燃焼に供せられる。このようにして生成される熱分解生成物や燃焼生成物は特定の成分が常に一定量生成されるとはかぎらず、加熱温度、換気率等その条件によって著しく変化する。この事実からもわかるように各種合成高分子材料の熱分解生成物を定量し、その結果にもとづいて毒性その他を論ずることはかなり困難で、したがって物質の燃焼生成物についてあるいは有害であると判定し、あるいは無害であると述べている場合もあって、その結果はしばしば異なることがある。表3にインテリア材料として用いられる合成高分子材料と天然高分子材料の燃焼生成物の分析例を示す。前述のように合成高分子材料の場合、熱分解の条件によりかなりの変化は認められるが、その化学構造を知れば熱分解によって生成される成分はおおよそ見当がつく。すなわち、ポリアクリロニトリル、ポリアミドなどは炭素、酸素、水素、窒素の各元素によって構成されており、しかも炭素-窒素結合を含み、炭酸ガス、一酸化炭素のほかにシアン化水素等のシアン化合物の生成が予想されるし、アンモニアの生成も考えられる。炭素、水素、酸素で構成される天然高分子化合物のセルロースや炭化水素よりなるポリビニルアルコールのようなポリマーでは、炭酸ガス、一酸化炭素、アルコール類、アルデヒド・ケトン類を生じ、ポリ塩化ビニル樹脂、ポリ塩化ビニリデン樹脂のように分子内に塩素を含有するプラスチック、さらにフッ素樹脂のように多量のフッ素を含む化合物では、これらのハロゲンにもとづいてハロゲン化水素、ハロゲンカルボニルのような有毒成分の生成が予想される。この予想はガスクロマトグラフィ、質量分析による熱分解生成物の分析結果とよい一致をみている。表3に示した分析例は実験室において、一定の条件の下で分析されたもので再現性もよいと考えられるが、これらの材料が火災に接した場合、分析例と同一の成分を生ずるとは限らない。その例として、最近、猛毒のシアン化水素を発生するものとしてしばしば話題となっているアクリロニトリル系材料を空気中で燃焼し、その生成物を分析した結果、濃度的にみて生成物中、有毒ガスの主たるものはシアン化水素ではなく一酸化炭素であったという事実もある。しかし、この系統の材料は不完全燃焼の場合きわめて危険で1kgのポリアクリロニトリルの熱分解で生ずる青酸の量は44lに達するといわれ、不完全燃焼の多い火災現場ではきわめて危険な材料であると考えねばならず、消防活動

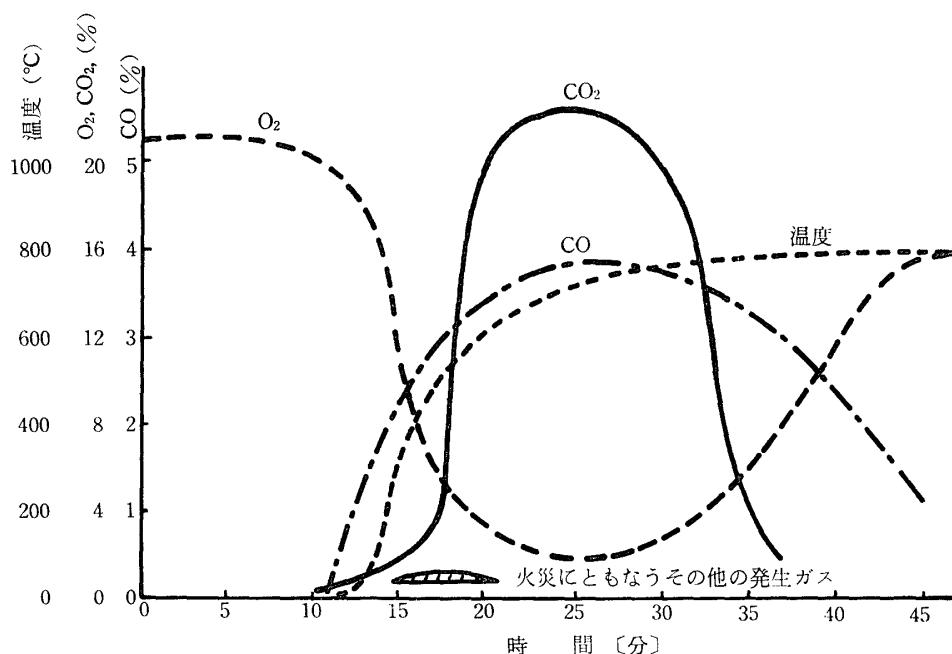


図9. 実火災実験における酸素 (O_2), 炭酸ガス (CO_2), 一酸化炭素 (CO) 量の時間的变化⁸⁾

には十分な注意が必要である。

表3に示すように、いずれの材料の燃焼生成物も炭酸ガスと一酸化炭素の占める割合が多い。いま、通常の内装よりなる耐火造高層建築物の実大火災実験数例から得られた一酸化炭素、炭酸ガス、酸素の濃度変化を模式的に示すと図9のようになる。図からわかるように、着火すると同時に酸素の濃度が徐々に減少し、炭素ガスも漸増する。これがフラッシュオーバーに至ると急激な酸素の低下とともに炭酸ガス、一酸化炭素の濃度が極端に増加する。可燃物の量により異なるが、この状態は10～20分間続き、この間大気中21%の酸素が1～2%に低下する。通常の内装材料であればこの現象は大同小異で、その原料組成によっては特殊な成分の濃度を増すことも予想される。空気中に存在する一酸化炭素が0.1%で2時間、0.15%で1時間、0.4～0.5%では30分間で死に至る⁸⁾。回復可能の一酸化炭素濃度は1.28%といわれ、この濃度およびこれ以上になると2～3呼吸で意識を失い1～3分で死に至る⁸⁾。一酸化炭素の生理的影響は健康状態や作業量によって異なるが、耐火高層構造物中の火災のもとでは、われわれの生命は1呼吸または2呼吸のきわめて短い時間で身体を失い、死に至ると考えられる。参考のため火災の際に発生する代表的な有毒ガスの生理的影響を表4に示す。また、表5には1時間生存濃度と避難可能限界濃度を示す。

表4．火災の際に発生する代表的な有毒ガスの生理学的影響濃度（単位 ppm）⁹⁾

人体に対する影響	一酸化炭素	塩素ガス	ホスゲン	塩化水素	フッ化水素	シアン化水素	アンモニア	硫化水素	硝気
数時間は安全	100	0.35～1.0	1.0	10	1.5～3.0	20	100	20	10～40
1時間は安全	400～500	4.0		50～100	10	50～60	100		
30分～1時間で重篤	1,500～2,000	40～60	2.5	1,000	50～250	100～200	2,500～4,500	200	100～150
30分～1時間で死亡	4,000					200～450		600	
即死程度		1,000	50	1,300～2,000		3,000	5,000～10,000	1,000	200～700
MAC*	100	1.0	1.0	5.0	3.0	20	100	20	5.0

* Mac: Maximum allowable concentration

中程度の労働で8時間、毒物に暴露しても中毒を起さない最高濃度で許容限度（忍限度）という。

表5．有毒ガスの一時間生存濃度と避難可能限界濃度¹⁰⁾

ガス	1時間生存濃度 (ppm)	避難可能限界濃度 (ppm)
CO	4,000	1,500～4,000
O ₂	90,000以下	60,000～100,000
CO ₂	100,000	40,000～80,000
H ₂ CN	200～300	—*
H ₂ Cl	1,000	50～100
H ₂ Br	1,000	—
SO ₂	400～500	—
NO _x	200～400	—

* データなし

一酸化炭素の恐しさは常識となっているが図9にみることでできるように酸素不足もきわめて危険で、大気中21%の酸素濃度が6～7%に低下すれば酸素を吸収することができず窒息するといわれ、比較的高い酸素レベルであっても火災時のショック、興奮により種々の酸素欠乏の徴候を示すといわれている。また炭酸

表 6. 空気中の酸素 (O_2) 濃度の欠乏が人体に与える影響⁹⁾

空気中の O_2 の濃度 (%)	症 状
21	正常 (空気中に含まれている O_2 の正常値)
20	影響なし
16～12	呼吸と脈膊増加, 筋肉の秩序ある運動に支障を来す
12～10	感情の錯乱 呼吸の乱れ, 筋肉は ぐ感じ疲労が早い
10～6	嘔吐, 意識不明
6 以下	呼吸中止 数分後に死亡

表 7. 空気中の炭素ガス (CO_2) 濃度の増加が人体に与える影響⁹⁾

空気中の CO_2 濃度 (%)	症 状
0.15	公衆衛生上の許容濃度数
2.5	数時間の吸入で症状に変化なし
3	呼吸の深さが増す
4	粘膜に刺戟, 頭部圧迫感, 血圧上昇 耳鳴
6	呼吸数が著明に増加
8	呼吸困難が著明
10	意識喪失, 呼吸困難
20	生命に重要な中枢の完全麻痺 死亡

ガスの忍限度は 5000 ppm とされ, 身体を自由を失うのが 10%前後とされているが, 酸素欠乏の状態および他のガスを多量に吸入した場合は炭酸ガス濃度が低くても危険な状態に至る。参考のため酸素および炭酸ガス濃度が人体に与える影響を示すと表 6 および表 7 のようになる。

自己消炎性のプラスチックはハロゲン, 窒素, リン, 硫黄などを含みハロゲン化水素, シアン化水素, ホスゲン, 硫化水素など猛毒ガス生成の危険性はあるが, その発生速度, 濃度が問題となり, しかもその生成は燃焼条件によって異なり, どの程度危険であるかは断定し難い。前述のようにプラスチック, 木質材料の燃焼や熱分解に当っては特別な条件を与えない限り一酸化炭素の発生と酸素不足は必ず起ると考えてよいから, 難燃材料でもこれらの危険は大きいと考えねばならない。有毒成分生成の危険のある元素を含んだ各種の材料も空気の供給が十分であれば炭酸ガス, 水蒸気, 窒素の酸化物などとなり毒性はあまり問題でなくなると考えてよいであろう。しかしながら, 十分な空気の供給により, 激しい燃焼を生じ火炎や熱気流による人命の損傷の危険性は増す。

防火処理木材については処理した薬剤により異なるが微量の塩化水素やアンモニアの生成が認められる程度で, 一酸化炭素を除いて顕著な有毒成分の生成はない。

プラスチック系に限らず各種建築材料の燃焼生成物や熱分解生成物の有害成分の性状, 挙動は材料の燃焼, 熱分解の複雑さと相俟っていよいよ複雑で, その解明は困難であろうと考えられるが, これらをひとつひとつ確実に解決してはじめて価値ある建築材料の開発や人命の安全の確保が期待できよう。そのような研究の一例としてセルロース系材料にとってきわめて興味ある研究がなされている¹¹⁾。すなわち, インテリア製品を中心とした薄物材料の燃焼性と分解ガスの発生についていくつかの実験を試みたもので, その結果を簡略な表にして示すと表 8 のようになる。この表から, セルロース系防燃加工材料が不燃性ガラス繊維材料

表8. 災害防止上の各種繊維材料のランク付け*11)

- | |
|---------------------------------------|
| 1. ガラス繊維材料 |
| 2. 防災処理セルロース系繊維材料 |
| 3. ポリ塩化ビニリデン |
| 4. ポリ塩化ビニル, ポリクラー |
| 5. セルロース系繊維材料 |
| 6. ポリビニルアルコール, ポリエステル, ポリオレフィン, アセテート |
| 7. ポリアミド, 羊毛, 絹 |
| 8. ポリアクリロニトリル, モダクリル |

*「ランク付け」は、発煙濃度、分解全ガスの毒性、燃焼速度フラッシュオーバーの有無を考慮してなされたものである。

に次いで防災上すぐれた材料であることがわかる。セルロース系材料の代表である木材についても、その防火処理により同様な研究結果が得られているが、飛躍的な研究成果は今後に期待しなければならない。このように有機質建材は、その材料固有の特性を活すとともに防火性能を賦与しなければならないが、その際材料の発煙と有害成分生成を阻止するに必要な方策をとらなければ、そのすぐれた材料特性も葬り去られてしまうことになるであろう。

4. お わ り に

以上、有機質系建築材料の燃焼による煙と有害ガスについて概略を述べた。この種の材料は火災に際して大量の煙と有害ガスを発生し、これが多くの人的損失を招く最大の要因のひとつと考えられ、その本質の究明と対策は進められつつあるが、ここで防災上種々広範な検討がなされる必要もある。すなわち、毎年多くの犠牲者を出した火災の調査結果をみると、新建材を含む建築材料のみに原因を求められる程単純なものではない。その原因の主なるもののひとつとして建築材料から発生するガスや煙が当然考慮されるべきであるが、ほかの重大な要因として、レジャーブームを背景にし増築に増築を重ねた結果、迷路のような「ホテル」独特の通路の設置、華麗さを誇るあまり防火上必要な構造や設計の無視、さらに非常口、非常階段など避難設備の不完全、従業員の避難訓練の不足等多くの要素がある。このように火災時において多くの犠牲者を出す要因として煙以外のものがあるにも拘らず、火災時における人的損失の予防対策が建築材料に偏重し過ぎるとの声もあるが、いわゆる新建材とくにプラスチック系建材から問題の対象となる煙やガスの発生のあることも事実で、防火性にすぐれ、より安価で発煙性の低い建築材料開発の研究を推進しなければならない。同時に数多くの悲惨な犠牲者を出したホテル火災に代表される「ホテル」等の建築物はいずれも建築関係法・消防法あるいは他省庁の関係法規の検討調査をうけてはじめて許可が与えられたものであるから（たとえ法に不備な点、また施主の側に法の無視があったとしてもこれは問題以前のことで論外であるが）設計者、施工者、施主のみならず、監督官庁、許認可機関に対して厳しい反省が求められている。

文 献

- 1) 堀内三郎, 中邨嘉幸: 建築と社会, **49** (2), 53 (1968)
- 2) D. GROSS, J. J. LOFTUS and A. F. ROBERTSON: Symposium on Fire Test Methods —Restraint & Smoke 1966—, STP422, p.166 ASTM, (1967)
- 3) J. R. GASKILL and C. R. VEITH: Organic Coatings and Plastic Chemistry Papers, (American Chemical Soc.), **28** (1), 282 (1968)
- 4) H. W. EICKNER and E. L. SCHAFFER: Fire Technology, **3** (2), 90 (1967)

- 5) W. J. KROENKE: J. Appl. Polym. Sci, **26**, 1167 (1981), R. P. LATTIMER and W. J. KROENKE, *ibid*, **26**, 1191 (1981)
- 6) R. A. CASS: J. Cellular Plastics, **3** (1), 41 (1967)
- 7) R. E. DUFOUR: Underwriters' Lab., Inc. Bulletin of Research, No.53 (1963)
- 8) 岡村正明: 火災 (防災科学技術シリーズ14), p. 623, 共立出版 (株), (1969), 渡辺 孚, 火災, No. 62, 131 (1966)
- 9) 美馬宏三, 国岡越郎, 越 英夫: 安全工学, **6**(3), 229 (1967)
- 10) Fire Safety Aspects of Polymeric Materials, Vol.3, Smoke and Toxicity, A Report by National Materials Advisory Board, National Academy of Science, p.25, TECHNOMIC Pub. Co., Inc., (1978)
- 11) 松田雄次郎, 会田重太郎: 工業材料, **16**(13), 91 (1968)
- 12) 浜田 稔ほか: 新訂建築学大系, 建築防火論, p. 101, 彰国社 (1970)